

Beitrag der Strömungsmechanik in Blasinstrumenten

Roger Grundmann¹

¹ Institut für Luft- und Raumfahrttechnik, 01062 Dresden, Deutschland, Email: grundmann@tfd.mw.tu-dresden.de

S-Bogen des Fagotts als Diffusor

Das subjektive Empfinden der Anblasleichtigkeit von Fagott-S-Bögen hat eine objektive Entsprechung im zahlenmäßigen, aerodynamischen Widerstandsbeiwert, der durch die Anwendung strömungsmechanischer Berechnungen gewonnen werden kann. Durch die Kenntnis des Strömungsverlaufs im Inneren des S-Bogens, insbesondere der Entwicklung von gezwungenermaßen, paarweise entstehenden Wirbeln können Kriterien zur optimalen Formgebung erstellt werden. Letztendlich entsteht eine geometrische Form des S-Bogens mit geringst möglichem Reibungswiderstand. Es ist vorhersagbar, dass das etwas mit leichterem Ansprache, also mit geringerer Anstrengung zu tun hat. Ein derartig reibungsarmer S-Bogen mit neuer geometrischer Kontur im Vergleich zur traditionellen Geometrie wird hier vorgestellt. In der Fachliteratur ist die Nutzung der numerischen Strömungsmechanik als Berechnungs- und Optimierungswerkzeug für den Blasinstrumentenbau noch nicht erfolgt.

Widerstandsbeiwert im S-Bogen des Fagotts

Die Geometrie eines S-Bogens ist in seiner Symmetrieebene zweifach gekrümmt. Ein Wendepunkt im Konturverlauf ist in Abbildung 1 auszumachen. Ein Resultat der Strömungsmechanik ist, dass in einem gekrümmten Rohr immer ein Wirbelpaar entsteht. Bei einem Richtungswechsel in der Krümmung wird das vorhergehende aufgehoben und ein neues Wirbelpaar mit gegenläufigem Drehsinn entsteht. Am Austritt des Bogens werden folglich ein oder mehrere Wirbelpaare mit der Methode der numerischen Strömungsmechanik sichtbar zu machen sein, Grundmann und Albrecht [1]. Weitere Beschreibungen finden sich in fachbezogenen Zeitschriften [2,3].

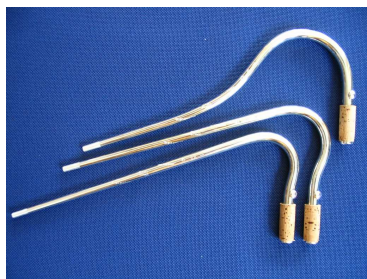


Abbildung 1: CC1-S-Bögenortiment für Fagotte der Firma Heckel, Biebrich, von oben nach unten traditioneller S-Bogen (CC1 traditionell), allgemeine neue S-Bogenkontur (S27), optimierte S-Bogenkontur (S27 optimiert) nach Guntram Wolf, Kronach

Für diese Berechnungen wurde ein Geometriemodul zur Beschreibung der S-Bogengeometrie erstellt, das die Grundlage für den kommerziellen Gittergenerierungscode lieferte. Die Strömung wurde sodann mit einem kommerziellen

Strömungsberechnungsprogramm ermittelt. Die Berechnungen fordern generell Anfangs- und Randbedingungen, so ist die Einblasgeschwindigkeit v zu $v = 4$ m/s und die Reynoldszahl Re , eine strömungscharakteristische konstante Ähnlichkeitszahl, zu $Re = 1066$ festgelegt worden. In Abbildung 2 sind die Verläufe der Widerstandsbeiwerte c_f von drei Diffusoren entlang der Lauflänge s dargestellt. Hier sind die mit dem dynamischen Druck dimensionslos gemachten Schubspannungsverläufe τ_w , also die über die Kreisquerschnitte gemittelten Wandreibungskräfte entlang der S-Bogeninnenwand aufgetragen. Die gepunktete Linie zeigt den Verlauf des graden Diffusors, die strichpunktete Linie den Verlauf eines traditionellen S-Bogens und die durchgezogene Linie den der Neuentwicklung mit niedrigst möglicher Reibung, nämlich dem S-Bogen S27 (opt.).

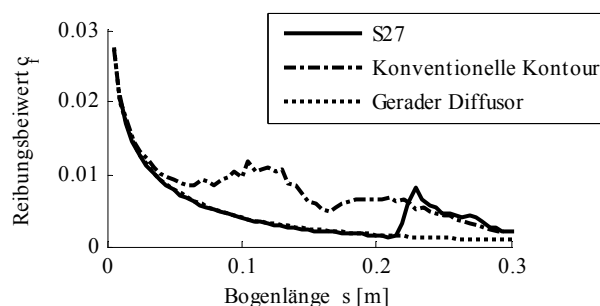


Abbildung 2: Verlauf der Reibungsbeiwerte c_f entlang der Lauflänge s in der Mittellinie des Bogens für einen graden Diffusor (punktierte Linie), einen traditionellen S-Bogen (strichpunktete Linie) und für ein geometrisch optimierten S-Bogen „S27“ (durchgezogene Linie)

Ein eindeutiges Ergebnis in der Beurteilung von physischer Anstrengung beim Fagottblasen und von ihrer physikalischen Ursache, nämlich der Reibung, ist diesem Diagramm zu entnehmen. Erkennbar ist, dass die strichpunktete c_f -Linie den Verlauf des herkömmlichen S-Bogens beschreibt. Der Zuwachs an der Gesamtreibung gegenüber dem graden Diffusor beträgt etwa 40%. Dieses Ergebnis ist in sich schon bemerkenswert, denn die Anstrengung wird erheblich nachlassen, wenn man die erste Krümmung der gewohnten Kontur weglässt, wie es durch die durchgezogene c_f -Linie für die neue Kontur bestätigt wird. Der dazu gehörende, integrale Reibungsbeiwert ist nur noch circa 20% vom graden Diffusor entfernt. Anders ausgedrückt ist der Widerstand des hier neu konzipierten S-Bogens zur Jahrhundert alten Kontur um 20% geringer. Solch ein Bogen neuer Geometrie ist also wesentlich leichter anzublasen.

Auswertungen zur S-Bogenklangfarbe

Am Institut für Luft- und Raumfahrttechnik wurde ein Versuchsstand zum Anblasen eines Fagotts erstellt. Somit ist es möglich, einen Ton ständig wiederholbar anzublasen und einer Frequenzanalyse über Mikrofon in einem Akustikraum

mit einer Nachhallzeit von $0,2\text{ s}$ durchzuführen. So wurde nun der Versuch unternommen, S-Bögen verschiedener Kontur bei gleich bleibender Legierung des Grundmaterials, der Oberflächenbehandlung, Wandstärke und des gewählten Ziehorns für den inneren Verlauf der Konizität auf ihre Klangqualität hin zu vergleichen. Der einzige verbleibende Unterschied, ist der Krümmungsverlauf in Stromabrichtung. An erster Stelle stand die subjektive Untersuchung der S-Bogenserie. Der mittlere in Abbildung 1 gezeigte S-Bogen fiel bei dieser Kontrolle durch professionelle Fagottisten durch. Die beiden anderen Bögen neuer und traditioneller Bauweise wurden für nahezu gleich befunden. Mit Hilfe des Prüfstands wurden Tests durchgeführt, die den einzigen Unterschied, nämlich den Formunterschied dreier Geometrien aufzeichnen sollten. Das Ergebnis ist in Abbildung 3 in Form von Formantenverläufen bzw. von Tonspektren der drei untersuchten S-Bögen mit demselben Experimentalfagott dargestellt. Als Formanten bezeichnet man Teiltongruppen, die sich auf Grund ihrer größeren Intensität wegen aus dem Frequenzspektrum herausheben.

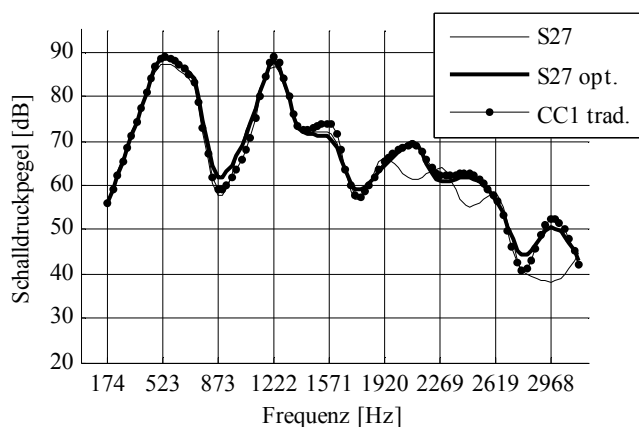


Abbildung 3: Tonspektren von drei CC1-S-Bögen für Fagotte der Firma Heckel, Biebrich, traditioneller S-Bogen Linie mit Kreuzen (CC1 traditionell), neuer S-Bogen dünne Linie (S27), optimierte S-Bogenkontur nach Guntram Wolf, dicke Linie (S27 optimiert)

In Abbildung 3 ist der Schalldruckpegel über der Frequenz aufgetragen. Diese einhüllenden Kurven sind die Verbindungslinien aller maximalen Auslenkungen im Schalldruckpegel der Grund- und Obertöne mit dem Grundton des kleinen f von $f = 174,6\text{ Hz}$. Dieses Verfahren der Ermittlung der Maxima im Schalldruck wird durch Pegeladdition ermittelt. Diese Kurven entstanden aus Mittelwertbildung von bis zu 30 Einzelmessungen. Aus diesen ist zu entnehmen, dass der traditionelle (CC1 traditionell) mit der neuen, optimierten Kontur (S27 optimiert) über den Verlauf der Obertöne die gleichen Orte für die Maxima und die Minima besitzt. Wohingegen der neue mit keiner optimierten Kontur (S27) ab 1900 Hz auffällige entgegen gesetzte Verschiebungen dieser Werte aufzeigt. Psychoakustisch wurde diesem Bogen eine nicht so gute Klangfarbe bestätigt.

Eine weitere Bestätigung dieser Ergebnisse durch eine statistische Auswertemethode mit der Bezeichnung Hauptkomponentenanalyse ist in Abbildung 4 vorgelegt.

Aus dieser Auswertung ist zu entnehmen, dass offensichtlich der traditionell geformte CC1-S-Bogen sich von dem

optimierten S-Bogen neuer Kontur S27 nicht mehr unterscheiden lässt, während der nicht-optimierte S27 durchaus große Abweichungen aufweist und eine eigene Gruppe bildet.

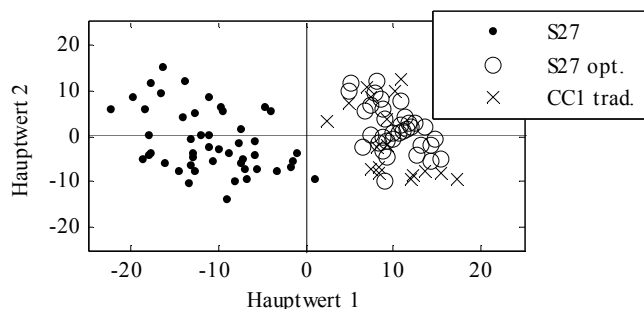


Abbildung 4: Statistische Auswertung der Tonspektren des traditionellen S-Bogens CC1 traditionell (Kreuze), des neuen S-Bogens S27 (Punkte) und des optimierten S-Bogens S27 optimiert (Kreise) nach der Hauptkomponentenanalyse

Dieses ist nun im Sinne einer psychoakustisch schlechteren Klangfarbe zu werten. Es wird wohl so sein, dass hier ein Kriterium für „gute und weniger gute“ Klangfarbe durch den rein geometrischen Verlauf eines S-Bogens gefunden wurde, denn alle anderen Parameter waren identisch gehalten worden. Gleichzeitig bedeutet das, da die neue Kontur über den geringsten Anblaswiderstand entwickelt wurde, dass die Strömung selbst die Klangfarbe erheblich beeinflusst.

Ausblick

Die Ursache zu diesen numerischen Untersuchungen ist die Suche nach einer objektiven Entsprechung für das subjektive Empfinden der Qualität eines S-Bogens, dem höchst wichtigen Bauelement des Fagotts. Die Vielzahl der Parameter, die den Bau eines handgefertigten Blasinstruments ermöglichen, erlaubt nur sehr schwer eine Objektivierung einzelner Elemente. Dennoch können durch die Anwendung von Experimenten und der Numerik einzelne Parameter isoliert werden und einer objektiven Beurteilung zugänglich gemacht werden. Selbstverständlich wird ein S-Bogen auf unterschiedlichen Fagotten jeweils eine andere Wirkung haben, da diese ebenso individuell sind und folglich jeweils ein eigenes Strömungsverhalten besitzen. Verbesserungen im Blasinstrumentenbau durch die Einbeziehung der Strömungsmechanik neben den rein akustischen Betrachtungen sind jedoch nach den hier aufgezeigten Erfahrungen möglich.

Literatur

- [1] Grundmann, R. und Albrecht, Th.: Numerische Strömungsberechnung im S-Bogen des Fagotts, Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden, **53** (2004)
- [2] Grundmann, R.: Eine neue Kontur für den S-Bogen für das Fagott – entwickelt mit Hilfe der Strömungstechnik, 'rohrblatt – Magazin für Oboe, Klarinette, Fagott und Saxophon **18** (2003), 180-183
- [3] Grundmann, R.: Strömungsmechanik als Werkzeug für optimale S-Bögen von Fagotten, Instrumentenbau-Zeitschrift, Musik International Verlag, Heft 9/10, 2003